

道路路况评价的物元模型

蒋红妍^{1,2}, 戴经梁²

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要:评述了现行《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ073.2-2001)中路况评价方法的不足,介绍了物元分析理论;分析了物元理论在路况评价中的适用性,据此建立了道路路况评价的物元模型。该模型是以定量数值表示路况属于某等级的程度大小;其中可拓集合关联函数的应用使得路况的多指标评定更为精细化。实例分析表明,路况评价的物元模型可较好地给出路况等级评定结果,能够较完整地反映道路状况的综合水平。

关键词:道路工程;路况评价;物元;模型

中图分类号:U416.06 **文献标识码:**A

Matter element model for evaluating pavement condition

JIANG Hong-yan^{1,2}, DAI Jing-liang²

(1. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture Science and Technology,

Xi'an 710055, China; 2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of

Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: The shortcomings in Chinese standard *Technical Specifications for Maintenance of Highway Asphalt Pavement* (JTJ073.2-2001) is commented. With the introduction of matter element analysis theory, the suitability of matter element theory on pavement condition evaluation is studied, then the matter element model for evaluating pavement condition is established. This model can quantitatively show the degree of pavement condition belonging to one grade, the application of related function of exploitable sets makes the multi-guideline evaluation more elaborate. An example indicates that this model can give better evaluation and reflect the comprehensive state of pavement condition more perfectly.

Key words: road engineering; evaluating pavement condition; matter element; model

0 引 言

路况评价是路面养护、道路经济分析及路面管理系统的重要组成部分。在诸多模型中,评价被分为综合指标评价和分项评价模型两大类。其中前者用于对路面质量的总体评价,后者用于确定具体的养护对策。在现行的《公路沥青路面养护技术规

范》^[1](JTJ 073.2-2001)中,分项路况的评价内容包括路面破损状况、行驶质量、强度及抗滑性能,所用的指标分别对应为路面状况指数(PCI)、路面行驶质量指数(RQI)、路面强度指数(SSI)、抗滑系数(SFC或BPN);路面的综合评价采用综合评价指数(PQI)作为评价指标,计算时是以上述各分项指标的评定结果为基础,对各评定等级的中间值进行加

收稿日期:2003-07-24

作者简介:蒋红妍(1974-),女,陕西富平人,西安建筑科技大学讲师,长安大学博士研究生。

权修正得到。文献[1]的综合评价存在三大类问题。本文利用物元分析方法建立的道路多指标性能参数的路况等级评定模型,并将这一新生学科应用于道路工程实际,为道路使用性能评价和预测提供了新的途径。

1 现行评价方法的述评

文献[1]中关于路面使用品质综合评价的思路是:根据各分项指标的实际数值,分别由其评价等级标准评定其分项状况的等级;再按照文献[1]中表 4.5.6-2 对各分项等级进行赋值,以解决各分项指标值域不统一的问题;进而计算综合指标 P_{PQI} ,然后通过 P_{PQI} 值的大小由文献[1]中表 4.5.6-3 的标准来判别该道路的总体评价,给出该路面总体的状况等级。

这种综合评价存在如下问题:

(1)同一等级范围内的分项路况差异被忽略或得不到体现。不同路段的分项指标是其不同使用性能的直接反映,对于路面行驶质量指数 $P_{RQI}=8.4$ 和 $P_{RQI}=7.1$,虽然在一定范围内在等级判定上会同属某一级,但显然是有区别的;而按照文献[1]中表 4.5.4,此两者均属于“良”等级,因而在修正赋值时都被赋以 80 作为计算 P_{PQI} 的基础。据此计算出来的 P_{PQI} 值根本就无法反映这 2 个不同路段在行驶质量方面的差异。

(2)分项指标差异不大时,有时分项等级的判定会使 P_{PQI} 值有较大变动。各分项评价等级范围是 1 个区间,对于路面行驶质量指数 $P_{RQI}=6.9$ 和 $P_{RQI}=7.0$,其本身并无太大差异;而按照文献[1]中表 4.5.4,前者为“中”等级,应赋修正值 65,但后者为“良”等级,应赋修正值 80。因而,对于此类落在分级标准点上的实际数据,势必会带来不合理的 P_{PQI} 值。

(3)路面总体评价等级的判定不够直接。路面总体状况是各分状况的综合反映。在制定出各分项路况的等级标准后,最好利用这些等级标准就可实现判定总体状况的等级。文献[1]中的作法,为给出最后的等级结论,又制定了 1 个 P_{PQI} 的评价等级标准。考虑到标准制定过程中的主观性及不确定性,这样间接地判定等级不是十分好的做法。

2 物元模型的建立

2.1 物元分析理论

物元分析(Matter Element Analysis)理论是中

国学者蔡文教授创立的一门介于数学和实验科学之间的新学科。它是系统科学、思维科学、数学交叉的边缘学科,是贯穿自然科学和社会科学而应用较广的横断学科。物元分析研究的对象是现实世界中的矛盾问题。

物元是物元分析理论中描述矛盾问题最基本的概念,是物元分析的逻辑细胞。事物,具有各种各样的特征,确定的事物关于某一特征有相应的量值。因而,给定事物的名称 N ,它关于特征 C 的量值为 V ,以有序三元 $R=\{N, C, V\}$ 组作为描述事物的基本元,简称物元。

如果事物 N 有多个特征,并以 n 个特征相应的量值 c_1, c_2, \dots, c_n 和相应的量值 v_1, v_2, \dots, v_n 来描述,则可以表示为

$$R = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix}$$

式中:称 R 为 n 维物元; R_i 为 R 的分物元。

物元的概念为解决根据事物关于特征的量值来判断事物属于某集合程度的识别问题提供了新途径。物元分析中的可拓集合的基本思想与识别问题是一致的,描述可拓集合的关联函数则使识别方法更为精细化。因而,利用可拓集合和关联函数,可以建立一套识别“既是又非”以及可变性事物的方法。

2.2 道路路况评价的物元模型

给定路况各分项指标的等级标准,根据道路的实际量值来判断路面的综合状况,就是 1 个识别问题,可以利用物元分析方法建立道路多指标性能参数的路况评定模型。

根据道路运营过程中使用者、管理者的经验和知识,把道路诸分项状况分成优、良、中、次、差 5 个等级,并总结出各等级标准的数据范围。将待评价的道路的各项实际指标代入各等级的集合中进行多指标评定。评定结果按它与某等级集合的关联度大小进行比较,关联度越大,它与某等级集合的符合程度就愈佳。从而得到道路综合状况的评定等级。

2.2.1 确定路况等级的物元集合

(1)确定经典域

$$R_j = (N_j, C_i, X_{ji}) = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & X_{j1} \\ & c_2 & X_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{jn} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} N_j & c_1 & \langle a_{j1}, b_{j2} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix}$$

其中, $N_j (j = 1, 2, \cdots, m)$ 为所划分的 j 个道路状况等级; $c_i (i = 1, 2, \cdots, n)$ 为路况等级的特征, 即分项指标; 区间 $X_{ji} = \langle a_{ji}, b_{ji} \rangle$ 为 N_j 关于 c_i 所规定的量值范围, 即各路况等级关于对应指标所取的数据范围——经典域。

(2)确定节域

$$R_p = (N_p, C_i, X_{pi}) = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & X_{p1} \\ & c_2 & X_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & X_{pn} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} N_p & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p2} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix}$$

其中, N_p 为路况等级的全体; 区间 $X_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 为 N_p 关于 c_i 所取的量值范围, 称为节域, 显然有 $X_{ji} \subset X_{pi}$ 。

(3)确定待评物元

对待评价的道路, 把所检测、计算得到的各分项指标值用物元

$$R_0 = \begin{bmatrix} N_0 & c_1 & x_{01} \\ & c_2 & x_{02} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & x_{0n} \end{bmatrix}$$

表示, 称为路况的待评物元。
其中, N_0 为待评价的道路; x_{0i} 为 N_0 关于 c_i 所取的量值, 即待评价道路的实际指标值。

2.2.2 确定待评价道路关于各路况等级的关联度

(1)距的计算

点 x_0 与有限实区间 $X = \langle a, b \rangle$ 的距为

$$\rho(x_0, X) = \left| x_0 - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{1}{2}(b-a) =$$

$$\begin{cases} a - x_0 & x_0 \leq \frac{a+b}{2} \\ x_0 - b & x_0 > \frac{a+b}{2} \end{cases}$$

采用距的概念可以较好的解决本文第 1 部分中没有考虑实际数据落在等级标准区间中何处位置的问题。

(2)关联函数 $K(x)$ 的计算

根据距计算关联函数值

$$K_j(x_i) = \begin{cases} \frac{\rho(x_{0i}, X_{ji})}{\rho(x_{0i}, X_{pi}) - \rho(x_{0i}, X_{ji})} & x_{0i} \notin X_{ji} \\ -\frac{\rho(x_{0i}, X_{ji})}{|X_{ji}|} & x_{0i} \in X_{ji} \end{cases}$$

(1)

其意义为待评道路在第 i 个分项状况上属于等级 j 的程度。对于每个分项状况指标 c_i , 若其权系数为 a_i , 则令

$$K_j(N_0) = \sum_{i=1}^n a_i K_j(x_i)$$

(2)

式中: $K_j(N_0)$ 为待评价道路关于路况等级 j 的关联度。

2.2.3 路况等级的综合评定

若 $K_{j_0}(N_0) = \max K_j(N_0), j_0 \in (1, 2, \cdots, m)$, 则判定 N_0 属于等级 j_0 。

直接利用已制定出的各分项路况等级标准, 以 $K_j(x_i)$ 为基础, 采用关联度来进行等级识别, 克服了本文第 1 部分需重新设计 1 个综合指标 PQI 的不足。此外, 关联度的大小还反映出待评道路路况符合某等级标准的程度: 数值越大, 符合程度越高; 若对一切 $j, K_j(N_0) \leq 0$, 表示该路段的路况已不在所划分的优、良、中、次、差等级之内, 应当重新加以识别。

3 应用实例

利用文献[2]中某高速公路某路段的路况数据, 进行物元模型应用分析^[3~9]。各分项指标的等级标准及相应权重系数采用文献[1]中的数据。

路况分项指标资料及根据文献[1]中 4.5.6 条之 1、2 款给出的总体评价结论(见表 1)。

表 1 路况评价信息

评价指标	指标值	分项等级	修正赋值	权重值	P_{PQI}	综合等级
P_{PCI}	69.00	中	65	0.25	67	中
P_{RQI}	7.00	良	80	0.35		
P_{SSI}	0.40	差	30	0.10		
P_{SFC}	33.00	中	65	0.30		

由文献[1]中表 4.5.2-2、表 4.5.3、表 4.5.4 及表 4.5.5 可分别得路况等级的经典域和节域。将某路段的路况数据表示成待评物元。利用式(1)计算得

$$K_1(x_1) = -0.340\ 4, K_2(x_1) = -0.031\ 3,$$

$$K_3(x_1) = 0.066\ 7, K_4(x_1) = -0.311\ 1,$$

$$K_5(x_1) = -0.483\ 3;$$

$$\begin{aligned}
K_1(x_2) &= -0.8571, K_2(x_2) = -0.8113, \\
K_3(x_2) &= -0.7222, K_4(x_2) = -0.5, \\
K_5(x_2) &= -0.5; \\
K_1(x_3) &= -0.3333, K_2(x_3) = 0, K_3(x_3) = 0, \\
K_4(x_3) &= -0.3333, K_5(x_3) = -0.5000; \\
K_1(x_4) &= -0.4250, K_2(x_4) = -0.2330, \\
K_3(x_4) &= 0.3000, K_4(x_4) = -0.1154, \\
K_5(x_4) &= -0.3611.
\end{aligned}$$

由权重值 $a_1=0.25, a_2=0.35, a_3=0.10, a_4=0.30$, 按式(2)得到待评道路关于各路况等级的关联度为

$$\begin{aligned}
K_1(N_0) &= -0.4149, K_2(N_0) = -0.1588, \\
K_3(N_0) &= 0.0345, K_4(N_0) = -0.2789, \\
K_5(N_0) &= -0.3542.
\end{aligned}$$

按照评定准则, $K(N_0) = \max K_j(N_0), j_0 \in (1, 2, \dots, m)$, 故判定该路段 N_0 的综合路况等级为第三级“中”。

4 结 语

本文利用物元分析方法,建立了道路多指标性能参数的路况等级评定模型,将这一新生学科应用于道路工程实际,为道路使用性能评价和预测提供了新的途径。该模型基于物元分析中的可拓识别方法,利用了关联函数可以取负值的特点,使识别方法能全面地分析对象属于某等级集合的程度。从物元分析的观点看,现有的评价方法是可以改进的;并且该模型能以定量的数值表示评定结果,从而能较完整地反映事物状况的综合水平,同时易于用计算机进行编程处理。

参考文献:

References:

- [1] JTJ073.2 - 2001. 公路沥青路面养护技术规范[S]. 2001.
JTJ073.2 - 2001. Technical Specifications for Maintenance of Highway Asphalt Pavement[S]. 2001.
- [2] 王 茵, 胡昌斌, 才 华, 等. 高速公路沥青路面使用性能综合评价指标[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 2000, 16(10): 264-269.
WANG Yin, HU Chang-bin, CAI Hua, et al. Study on comprehensive performance evaluation for freeway

asphalt pavement[J]. Journal of Shenyang Architecture and Civil Engineering Institute, 2000, 16(10): 264-269.

- [3] 蔡 文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
CAI Wen. Matter element model and its application [M]. Beijing: Literature Press of Science and Technology, 1994.
- [4] 潘玉利. 路面管理系统原理[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
PAN Yu-li. Pavement management system[M]. Beijing: People's Communications Press, 1998.
- [5] 门宝辉, 梁 川. 城市环境质量综合评价物元模型及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003, (3): 134-139.
MEN Bao-hui, LIANG Chuan. Establishment and application of matter element model for evaluating urban environmental quality[J]. Theory and Practice of System Engineering, 2003, (3): 134-139.
- [6] 胡永宏, 贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
HU Yong-hui, HE Si-hui. Comprehensive evaluation method[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [7] 胡霞光, 王秉刚. 两种基于遗传算法的路面性能综合评价方法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, 22(2): 6-9.
Hu Xia-guang, WANG Bing-gang. Application of two genetic algorithms based method in pavement performance synthetic evaluation[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2002, 22(2): 6-9.
- [8] 谢水友, 郑传超. 轮胎接触压力对沥青路面结构的影响[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004, 24(1): 12-16.
XIE Shui-you, ZHENG Chuan-chao. Effects of tire contact pressure on asphalt pavement structure [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(1): 12-16.
- [9] 胡小弟, 孙立军. 沥青路面结构在非均布荷载作用下的三维有限元分析[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2003, 23(3): 15-20.
HU Xiao-di, SUN Li-jun. Analysis of asphalt pavement structure under non-uniform distributed tire pressure with 3D finite element method [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2003, 23(3): 15-20.